

环保疏浚工程关键技术应用研究述评

史誉州¹, 王栋臣², 朱云峰³

(1. 江苏航运职业技术学院 船舶与海洋工程学院, 江苏 南通 226010;

2. 江苏航运职业技术学院 图书馆, 江苏 南通 226010; 3. 江苏航运职业技术学院 教育信息化管理中心, 江苏 南通 226010)

摘要:随着科技进步和河湖治理环保意识的不断提高,疏浚装备制造与自动化控制技术快速发展,河湖底泥环保疏浚技术也越来越多地应用于工程实践。为了能够给环保疏浚工程制定正确的施工方案提供科学依据,在分析环保疏浚工程关键技术特点的基础上,系统总结了环保疏浚施工装备、环保疏浚精度控制方法、污染底泥的扩散规律和处置方法等方面的研究和应用现状,以期环保疏浚技术发展提供借鉴。

关键词:环保疏浚;污染底泥;河湖治理

中图分类号:X52

文献标志码:A

文章编号:2097-0358(2024)1-0044-04

0 引言

河湖底泥通常都含有营养物质、持久性有机质、重金属等污染物,为防止这些污染物在外源和内在因素的作用下在水体内扩散,通常采用环保疏浚的方式来去除河湖污染底泥。环保疏浚与一般基建类疏浚工程不同,它对施工所采用的装备、疏浚作业的精度、污染底泥扩散程度、污染底泥的后处理方式等都有着较为严格的要求。随着人们环境保护意识的提高,世界各国都对环保疏浚技术进行了较为深入的研究^[1-3]。我国对环保疏浚的研究始自从欧美发达国家购置挖泥船等疏浚设备,并通过消化吸收国外先进的挖泥船技术,改造和开发了一批适用于环保疏浚的专业机具,掌握了环保疏浚船机的改造升级技术,也通过国家启动的多项水利专项重大科技攻关课题,形成了一个环保疏浚研发队伍和技术创新体系。在上述基础之上,很多典型环保疏浚示范性工程得以实施,例如太湖、京杭大运河、滇池、洞庭湖等多项生态修复和水环境整治工程。

1 环保疏浚工程装备研究及应用现状

环保疏浚是一个较为复杂而艰巨的系统性施工。对于环保疏浚的具体工程来说,不仅要综合考虑疏浚工程所处的地理环境及所具有的水体特征,还要探明水体中污染物的类型及含量,并针对上述疏浚工程相关特性制定具有较强针对性的工程施工方案。也就是说,疏浚工程特性不一样,环保疏浚所采用的船机装备也不尽相同。目前,全世界范围内环保疏浚工程所采用的工程装备各不相同,但大致可归纳为两大类。

一是通过对已有传统工程疏浚装备进行技术改造,使其达到特定环保疏浚工程的具体要求,这也是环保疏浚施工企业目前经常采用的方法。对传统工程疏浚装备的技术改造,通常是改造普通挖泥船使其具有环保属性,进而减轻疏浚物或残留物对周围环境造成的不良影响。普通挖泥船的环保属性改造主要包括四个方面的具体工作。其一是对传统挖泥船的疏浚机具进行改造,以此来减少疏浚机具对污染底泥的扰动,使得底泥自身能够保持较高浓度,也能够极大程度上阻止污染底泥在施工水域环境水体中的扩散。其二是为传统挖泥船配备全球定位系统、视频监控系统和超声探测系统,以能够实时动态监控挖泥船开挖河湖底泥的全过程,极大提高挖泥船疏浚挖泥精度,有效避免超挖和漏挖等现象的出现。其三是对由泥浆泵、输泥管道、接力泵船等构成的污染底泥输送系统进行系统改造,以有效避免污染物在输送过程中的泄露污染。其四是对输泥系统与污染疏浚物处理装备之间的衔接装置进行改进,以此来防止污染底泥转运过程中泄露而

收稿日期:2023-05-22

基金项目:江苏省高等学校基础科学(自然科学)研究面上项目(22KJD580002);江苏省高校“青蓝工程”优秀青年骨干教师项目;南通市科技项目(MS22022099)

作者简介:史誉州(1987—),男,江苏宜兴人,江苏航运职业技术学院船舶与海洋工程学院讲师,硕士。

对环境水体造成二次污染。

二是单独开发研制专用型环保疏浚技术装备。此类装备针对性强、技术先进、施工效率高、贴合环保疏浚工程实际,特别适用于疏浚水域水体环保要求高的工程。近年来,国内很多科技工作者依托疏浚企业有针对性地开发了多种专用型环保绞刀刀头和防止污染物扩散的拦污屏,极大改善了挖泥船舶的环保疏浚效果,并在多个环保疏浚施工中进行了实际应用。朱玉强等为绞吸式挖泥船开发了一种带有长锥形保护外罩的环保绞刀,并在环保绞刀上每隔 30° 安装一个纵向刀片,纵向刀片旋转时与长锥形保护外罩内壁相切,绞刀旋转挖泥时令长锥形保护外罩底部边缘与河床面贴合,这样就能够极大程度上限制绞刀刀头扰动污染底泥并使之向环境水体中扩散。^[4]武剑博等研制了一种具有螺旋切割功能的环保疏浚绞刀刀头,也安装了保护外罩,施工时螺旋切割型绞刀刀头保持与河床面平行,不会对水体产生较大扰动,也不会发生超挖和漏挖等现象。^[5]张桐等通过在非自航绞吸船上安装杓斗吸头,设计了全封闭式抓斗或液压抓斗等方式的环保疏浚设备。^[6]这些经过改进后的传统设备目前已在工程实际中被多次使用,效果良好。国外科技工作者也开发了气动泵清淤机及污染底泥疏挖处理环保船型等新型环保疏浚设备,但由于不同疏浚工程的水体状况、底泥特征、污染物含量及种类均不相同,所以这些新型环保疏浚设备使用局限性较大、经济适用性不好,导致其在工程实际中的应用较少^[7-8]。

2 环保疏浚精度控制方法研究

在环保疏浚工程施工过程中,疏浚深度控制是实现良好疏浚效果的重要一环。近年来,一些学者对环保疏浚深度进行过细致的室内试验和原型观测研究,得出了一些有价值的结论。周小宁等在分析研究太湖梅梁湾沉积物内以各种形态存在的有害磷元素的含有率、吸附率及可交换率等特征参数随底泥厚度变化规律的基础上,精确推算得出了环保疏浚水域内污染底泥的最佳疏浚深度值。^[9]王经顺等研究认为,正确判定和控制环保疏浚精度,是疏浚工程成功的关键,而环保疏浚挖泥装备对疏浚精度具有直接的影响。^[10]所以,为了使环保疏浚精准度得到有效控制,保证环保疏浚的精度,疏浚时要根据河床底泥的性质来控制挖掘装备横移及摆宽的速度、挖泥的深度和台车的行程。李金贵等为了实现环保疏浚施工过程中的精确挖泥,研究开发了一种环保疏浚仪表,这种仪表主要运用了高精度的定位和挖深控制技术,提高了环保疏浚施工的精确度,能够保证疏浚精度控制在10 cm范围以内,并且在典型工程示范应用中表明,该技术在最大程度清除河床污染底泥的同时,能够有效减小挖泥装备对非污染土的扰动和破坏。^[11]吴永红等以滇池围湖试验区海东湾和马村湾的沉积物为研究对象,对沉积物柱状样按每3 cm分层,通过测试有机质含量的方法,确定了疏浚层厚度。^[12]周小宁等对不同水土比时太湖底泥的环保疏浚进行了模拟研究,结果表明,太湖底泥厌氧及置水条件、污染底泥内的细小泥沙颗粒、施工水域内较高的水体温度等均是促使污染底泥释放出磷元素的主要原因,而通过对太湖污染底泥淤积现状的模拟结果分析发现,污染底泥环保疏浚厚度取值为25 cm时对施工水域水体的污染最小、环境效果最佳。^[9]梁羽飞等研究认为,绞吸式挖泥船由于工程实施过程中不能及时精确地测量和获取疏浚水位、不能精确操控绞吸船绞刀的开挖深度等,都能够影响环保疏浚的精准度。^[13]

3 污染底泥的扩散规律研究

环保疏浚施工对周围环境产生的影响,主要是疏浚实施过程中对环境水体水质、水上水下生态系统、抛泥区土壤和地下水等的影响。环保疏浚施工使得原本较为稳定的河床底泥遭受扰动,造成底泥泛起形成浮泥并在施工水域内扩散,使得水体中的悬浮物浓度大大增加,水体的透明度下降,造成水体的二次污染。

目前,对污染底泥扩散规律、机理及控制方式的研究成果还很少。很多环保疏浚工程在实施过程中主要从三个方面对水体水质和生态环境进行保护,即疏浚工程实施现场、疏浚物运输路线和抛泥区域。例如在对巢湖湖区污染底泥进行疏浚时,根据环保要求选择对颗粒物扩散影响较小的 $350\text{ m}^3/\text{h}$ 和 $500\text{ m}^3/\text{h}$ 的大排距绞吸船进行挖泥施工,并在施工过程中通过全球定位系统对挖泥船绞刀的横向移动速度进行精准控制,减少了扰动环境水体造成底泥上浮扩散而形成二次污染,实现了环保疏浚施工精度的大幅提高。^[14]梁羽飞等研究认为,绞吸式挖泥船的挖掘过程是通过挖泥绞刀对土体进行切割、破碎并与水搅拌的过程。在此过程中,挖泥船绞刀对底泥的扰动如果得不到有效控制,挖泥船的横移摆动以及抛、启锚等就会对环境水体及河床底泥造成扰动,进而造成对周围环境水体的污染;研究建议要精准控制挖泥船施工精度,避免对环境造成二

次污染,也可以通过改进挖泥刀具、合理配置整船的系统装备及将周边水域与环保疏浚施工区域隔离等几个方面来避免二次污染。^{[13]45}张宏喆等认为,疏浚底泥中小颗粒泥土会在水体流动和疏挖机具运行过程中发生扩散而污染环境水体,即在吸入吸泥管道前,小颗粒泥土就脱离绞刀对疏浚水域内的水体造成二次污染,所以应该通过改善吸泥管口的位置、控制绞刀头转速等方式控制底泥的泄漏。该研究也表明,通过改变疏浚底泥距离吸泥管道口门和改进绞刀双吸口结构的方式,能够有效控制污染底泥的扩散程度,^[15]这主要是由于改变了双吸口绞刀刀头的结构,使得疏浚底泥与双吸管口之间的距离发生改变,也使得工程实际应用过程中的单向挖泥改变成双向挖泥,大大提高了绞吸式挖泥船环保疏浚的生产效率。

4 污染底泥处置方法研究

环保疏浚主要是通过疏浚水体底部污染底泥的方式来清除被污染水域内的污染源,是治理重度污染水域水体的重要手段。被污染的河湖底泥中集聚了数量众多的污染物,利用泥浆泵叶轮将污染底泥打成泥浆,然后通过输泥管道运送到疏浚底泥堆场存放,在这一过程中河湖污染底泥会发生化学、物理和生物作用,致使河湖底泥裹带的污染物在合适条件下重新释放,变成影响周围环境的潜在污染源,^[16-18]因此要采用恰当的技术手段将环保疏浚过程中清除出来的污染沉积物进行处理和处置,以防止污染沉积物对堆泥场周围区域内的地下水及环境造成潜在的危害及威胁。

一直以来,环保疏浚过程中污染底泥的处置方式是一个非常重要的课题。很多学者都对污染底泥处置方式进行了研究和实践,取得了一些有价值的成果^[19-20]。Stephens S. R.等研究认为,河湖疏浚底泥堆场内污染物的扩散主要发生在环保疏浚施工和污染底泥干化期间,在此过程中会有大量含有污染物的余水产生,降雨产生的地表径流内会溶解污染物,并会随水流排入到附近水体,同时污染物也会直接向地下水渗透,或通过堆场围堰直接向堆泥场外侧渗透。^[21]河湖污染底泥内的挥发性污染物会直接向空气中挥发,造成堆场及周边动植物的直接摄取,最后会进入食物链进行循环累积。河湖污染物扩散路径主要同底泥特征、堆场设计、疏浚工程实施前后堆场管理水平等密切相关。余水含有的污染物绝大多数呈颗粒状或吸附于细小污泥颗粒上,通过去除余水内的悬浮颗粒,就可以很大程度上控制余水水质。当前,疏浚底泥堆场余水内悬浮污染物浓度的主要控制措施有堆场自然沉淀强化、加药促沉、过滤和间歇作业。Tang N.H.等研究认为,河湖疏浚污染底泥可以采用物理和化学方法进行无害化处理,包括溶剂清洗法、动电学法、热萃取法、化学氧化法、固化和稳定化熔融法以及超声波技术等。^[22]国外环保疏浚过程中利用物理化学方法进行疏浚底泥处理的技术手段已开始应用到工程实际。

河湖环保疏浚过程中会产生大量底泥,利用常规物理化学手段无害化处理河湖污染底泥,工程所需费用巨大。近几年来,通过栽种植物来吸收和代谢河湖底泥内污染物的方式,引起了越来越多科技工作者的关注。植物栽种不仅能够对污泥堆场内污染底泥进行长期修复,直至彻底无害化堆场内的污染底泥,而且植物栽种费用较低,效果也较为明显。栽种的植物通常根系和表面覆盖植物叶片强大,不仅能够有效阻止有毒害污染物的挥发,也能有效阻止污染物随地表径流流失,还能使得有机物和重金属污染物稳定,有效阻止和减少了污染物进入渗滤液体,污染底泥脱水速度也由于植物的高蒸发率而大幅度增加。研究也表明,柳树除了对重金属具有植物萃取作业,也具有植物稳定功能,其发达的根系对重金属镉有较大的摄取量,最高可达 3.9 mg/kg ^[23]。还有一些研究者运用生物降解方式,来修复受到污染的河湖底泥,生物降解法对环境危害较小,工程费用也较低,更不会有污染物被释放到水体、土壤和空气中,这极大降低了污染底泥具有的生物毒理性和污染物的扩散量。

5 结束语

本文围绕环保疏浚技术创新体系,分析了其关键技术及特点,系统地总结了环保疏浚施工装备、环保疏浚精度控制方法、污染底泥的扩散规律和处置方法等方面的研究内容 and 应用现状,以为工程实际应用提供借鉴。

参考文献:

- [1]巴特尔,张宏喆.环保疏浚及其工程特点与发展[J].中国水运(下半月),2016(5):268-269.

- [2]李英杰,胡小贞,年跃刚.环保疏浚新疏挖工艺[J].中国农村水利水电,2010(2):13-16.
- [3]陈越山.环保疏浚朝阳产业[J].交通建设与管理,2010(4):26-30.
- [4]朱玉强.环保疏浚与环保疏浚设备探析[J].水利科技与经济,2010(10):1118-1120.
- [5]武剑博,黄引平.环保疏浚的技术要求与环保绞刀的设计[J].环境污染治理技术与设备,2006(7):138-140.
- [6]张桐.疏浚技术在黑臭水体治理中的应用及生态影响[J].环保科技,2018(2):57-60,64.
- [7]HERDER S D.Precision environmental dredging by DOP350 on the Great Lakes[J].World Dredging, 2018(1-2):10,12-13.
- [8]FISHER, REBECCA, WALSH, et al. Accounting for environmental uncertainty in the management of dredging impacts using probabilistic dose-response relationships and thresholds[J]. The Journal of applied ecology, 2018(1):415-425.
- [9]周小宁,姜霞,金相灿.太湖梅梁湾沉积物磷的垂直分布及环保疏浚深度的推算[J].中国环境科学,2007(4):445-449.
- [10]王经顺.污染底泥环保疏浚中挖泥精度的判定[J].江苏环境科技,2006(6):54-55.
- [11]李金贵,李进军,杨建华.污染底泥精确疏浚技术[J].中国港湾建设,2004(6):11-20.
- [12]吴永红,胡俊,金向东.滇池典型湖湾沉积物氮磷化学特性及疏浚层推算[J].环境科学,2005(4):77-82.
- [13]梁羽飞,赵明献.浅谈绞吸式挖泥船的环保疏浚[J].河南水利,2005(5):45-45.
- [14]徐启明.巢湖航道疏浚工程中的环保措施[J].交通环保,2001(5):42-43.
- [15]张宏喆,巴特尔.疏浚工程中污染泥扩散控制方法研究[J].中国水运(下半月),2016(5):270-271.
- [16]雷晓玲,袁廷,杨程,等.基于 Delft3D 模型的三峡航道环保疏浚水质数值模拟研究[J].工业安全与环保,2016(3):65-68.
- [17]李川,张晴波,赵东华,等.受污染河湖的疏浚底泥快速脱水干化新工艺的应用[J].净水技术,2015(3):101-104.
- [18]袁星,梅晓庆.环保疏浚尾水处理工程设计运用[J].中国水运(下半月),2017(7):167-169,184.
- [19]葛高岭.水位变动较大河道环保疏浚与底泥处置方案[J].水运工程,2016(5):170-174.
- [20]余灿.河道底泥环保疏浚方式及处理方案研究[J].科学技术创新,2018(12):95-96.
- [21]STEPHENS S R,ALLOWAY B J,PARKER A. Changes in the leachability of metals from dredged canal sedimental sediments during drying and oxidation[J].Environmental Pollution,2001(3):114.
- [22]TANG N H,MYERS TOMMY E.PCB removal from contaminated dredged material[J]. Chemosphere,2002(46):477-484.
- [23]晋德明.探析环保理念下的港口航道疏浚工程措施[J].中国水运(下半月),2014(1):168,191.

(责任编辑:张 利)

Research Review on the Application of Key Technologies for Environmentally Friendly Dredging Projects

SHI Yu-zhou¹, WANG Dong-chen², ZHU Yun-feng³

(1. School of Ship and Ocean Engineering, Jiangsu Shipping College, Nantong 226010, China;

2. Library of Jiangsu Shipping College, Nantong 226010, China;

3. Education Information Management Center, Jiangsu Shipping College, Nantong 226010, China)

Abstract: With the progress of science and technology and the continuous improvement of environmental protection awareness of river and lake management, dredging equipment manufacturing and automation control technology is developing rapidly, and the environmental protection dredging technology of river and lake sediment is more and more applied to engineering practice. In order to provide a scientific basis for the environmental protection dredging project to formulate the correct construction plan, on the basis of analyzing the key technical characteristics of the environmental protection dredging project, it systematically summarizes the current research and application status of the environmental protection dredging construction equipment, the environmental protection dredging precision control method, the diffusion law of the contaminated sediment and the disposal method, etc., with a view to providing reference for the development of the environmental protection dredging technology.

Key words: environmental dredging; contaminated sediment; river and lake management